

**Минобрнауки России**  
**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки**  
**ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ**  
**им. В.А. КОТЕЛЬНИКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК**  
**(ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН)**

УТВЕРЖДАЮ  
Директор  
ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН  
\_\_\_\_\_ С.А. Никитов  
« 18 » \_\_\_\_\_ 2024 г.



**ПРОГРАММА**  
кандидатского экзамена по научной специальности  
**1.3.4 Радиофизика**  
(физико-математические науки)

Москва, 2024

## **I. Общие положения**

Настоящая программа предназначена для аспирантов и лиц, прикрепленных для сдачи кандидатских экзаменов без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и содержит требования к кандидатскому экзамену по специальности 1.3.4 Радиофизика. Программа разработана на основе типовой программы-минимум кандидатского экзамена по специальности «Радиофизика», утвержденной Министерством образования и науки Российской Федерации.

## **II. Содержание кандидатского экзамена**

На кандидатский экзамен выносятся следующий перечень разделов и вопросов.

### *Теория колебаний*

1. Линейные колебательные системы с одной степенью свободы. Силовое и параметрическое воздействие на линейные и слабонелинейные колебательные системы.

2. Автоколебательная система с одной степенью свободы. Энергетические соотношения в автоколебательных системах. Методы расчета автоколебательных систем

3. Воздействие гармонического сигнала на автоколебательные системы. Синхронизация. Явления затягивания и гашения колебаний. Применение затягивания для стабилизации частоты.

4. Аналитические и качественные методы теории нелинейных колебаний. Анализ возможных движений и бифуркаций в фазовом пространстве: метод малого параметра, метод Ван-дер-Поля, метод Крылова–Боголюбова. Укороченные уравнения. Усреднение в системах, содержащих быстрые и медленные движения.

5. Колебательные системы с двумя и многими степенями свободы. Нормальные колебания. Вынужденные колебания.

6. Автоколебательные системы с двумя и более степенями свободы. Взаимная синхронизация колебаний двух генераторов.

7. Параметрическое усиление и параметрическая генерация. Параметрические усилители и генераторы. Деление частоты.

8. Устойчивость стационарных режимов автономных и неавтономных колебательных систем. Временные и спектральные методы оценки устойчивости.

9. Собственные и вынужденные колебания линейных распределенных систем. Собственные функции системы (моды). Разложение вынужденных колебаний по системе собственных функций.

10. Распределенные автоколебательные системы. Лазер как пример такой системы. Условия самовозбуждения. Одномодовый и многомодовый режимы генерации.

11. Хаотические колебания в динамических системах. Понятие о

хаотическом (странном) аттракторе. Возможные пути потери устойчивости регулярных колебаний и перехода к хаосу.

### ***Теория волн***

1. Плоские однородные и неоднородные волны. Плоские акустические волны в вязкой теплопроводящей среде, упругие продольные и поперечные волны в твердом теле, электромагнитные волны в среде с проводимостью. Поток энергии. Поляризация.

2. Распространение сигнала в диспергирующей среде. Простейшие физические модели диспергирующих сред. Волновой пакет в первом и втором приближении теории дисперсии. Фазовая и групповая скорости. Параболическое уравнение для огибающей. Расплывание и компрессия импульсов. Дисперсионные соотношения Крамерса–Кронига и принцип причинности.

3. Свойства электромагнитных волн в анизотропных средах. Оптические кристаллы, уравнение Френеля, обыкновенная и необыкновенная волны. Магнитоактивные среды. Тензор диэлектрической проницаемости плазмы в магнитном поле; нормальные волны, их поляризация.

4. Волны в периодических структурах. Механические цепочки, акустические и оптические фононы. Полосы пропускания и непрозрачности. Электрические цепочки, сплошная среда со слабыми периодическими неоднородностями. Связанные волны.

5. Приближение геометрической оптики. Дифференциальное уравнение луча. Лучи и поле волны в слоисто-неоднородных средах. Электромагнитные волны в металлических волноводах. Диэлектрические волноводы, световоды. Линзовые линии и открытые резонаторы. Гауссовские пучки.

6. Метод Кирхгофа в теории дифракции. Функции Грина. Условия излучения. Дифракция в зоне Френеля и Фраунгофера. Характеристики поля в фокусе линзы.

7. Волны в нелинейных средах без дисперсии. Образование разрывов. Ударные волны. Уравнение Бюргера для диссипативной среды и свойства его решений. Генерация гармоник исходного монохроматического сигнала, эффекты нелинейного поглощения, насыщения и детектирования.

8. Уравнение Кортевега–де–Вриза и синус – Гордона. Стационарные волны. Понятие о солитонах. Взаимодействия плоских волн в диспергирующих средах. Генерация второй гармоники. Параметрическое усиление и генерация.

9. Самовоздействие волновых пучков. Самофокусировка света. Приближения нелинейной квазиоптики и нелинейной геометрической оптики. Обращение волнового фронта. Интенсивные акустические пучки; параметрические излучатели звука.

## ***Статистическая радиофизика***

1. Случайные величины и процессы, способы их описания. Стационарный случайный процесс. Статистическое усреднение и усреднение во времени. Эргодичность. Измерение вероятностей и средних значений.

2. Корреляционные и спектральные характеристики стационарных случайных процессов. Теорема Винера-Хинчина. Белый шум и другие примеры спектров и корреляционных функций

3. Модели случайных процессов: гауссовский процесс, узкополосный стационарный шум, импульсные случайные процессы, дробовой шум.

4. Отклик линейной системы на шумовые воздействия; функция Грина, интеграл Дюамеля. Действие шума на колебательный контур, фильтрация шума. Нелинейные преобразования (умножения частоты и амплитудное детектирование узкополосного шума).

5. Марковские и диффузионные процессы. Уравнение Фоккера-Планка. Броуновское движение. Флуктуационно-диссипационная теорема. Тепловой шум; классический и квантовый варианты формулы Найквиста. Тепловое излучение абсолютно черного тела.

6. Случайные поля. Пространственная и временная когерентность. Дифракция случайных волн. Теорема Ван Циттерта-Цернике. Дифракция регулярной волны на случайном фазовом экране. Тепловое электромагнитное поле. Теорема взаимности.

7. Рассеяние волн в случайно-неоднородных средах. Борновское приближение, метод плавных возмущений. Рассеяние волн на шероховатой поверхности. Понятие об обратной задаче рассеяния.

8. Взаимодействие случайных волн. Генерация второй оптической гармоники, самофокусировка и самомодуляция частично когерентных волн. Преобразование спектров шумовых волн в нелинейных средах без дисперсии.

### ***Принципы усиления, генерации и управления сигналами***

1. Принцип работы, устройство и параметры лазеров (примеры: гелий-неоновый лазер, лазер на рубине, полупроводниковый лазер).

2. Оптические резонаторы. Резонатор Фабри-Перо, конфокальный и концентрический резонаторы. Неустойчивый резонатор. Продольные и поперечные типы колебаний. Спектр частот и расходимость излучения. Добротность.

3. Режимы работы лазеров: непрерывный режим генерации, режим модуляции добротности резонатора, режим синхронизации мод. Сверхкороткие импульсы. Шумы

4. лазеров, формула Таунса и предельная стабильность частоты. Оптические компрессоры и получение фемтосекундных импульсов.

5. Молекулярный генератор. Квантовые стандарты частоты (времени).

6. Волноводы, длинные линии и резонаторы. Критическая частота

и критическая длина волновода. ТЕ-, ТН- и ТЕМ-волны. Диэлектрические волноводы. Периодические структуры и замедляющие системы. Волновое сопротивление.

7. Усилители СВЧ-диапазона (резонаторный, бегущей волны). Полоса пропускания усилителя бегущей волны.

8. Генерация волн в СВЧ-диапазоне. Принцип работы и устройство лампы бегущей и обратной волны, магнетрона и клистрона. Отрицательное дифференциальное сопротивление и генераторы СВЧ на полевых транзисторах, туннельных диодах, диодах Ганна и лавиннопролетных диодах. Эффект Джозефсона.

9. Взаимодействие волн пространственного заряда с акустическим полем, акустоэлектрический эффект. Принципы работы акустоэлектронных устройств (усилители ультразвука, линии задержки, фильтры, конвольверы, запоминающие устройства).

10. Взаимодействия света со звуком. Дифракция Брэгга и Рамана–Ната. Принципы работы устройств акустооптики (модуляторы и дефлекторы света, преобразователи свет–сигнал, акустооптические фильтры), анализаторы спектра и корреляторы.

11. Линейный электрооптический и магнитооптический эффекты и их применение для управления светом.

### ***Антенны и распространение радиоволн***

1. Вибратор Герца. Ближняя и дальняя зоны. Диаграмма направленности. Коэффициент усиления и коэффициент рассеяния антенны. Антенны для ДВ-, СВ- и СВЧ- диапазонов. Параболическая антенна. Фазированные антенные решетки. Эффективная площадь и шумовая температура приемной антенны.

2. Геометрическое и дифракционное приближения при анализе распространения радиоволн. Влияние неровностей земной поверхности. Земные и тропосферные радиоволны. Рассеяние и поглощение радиоволн в тропосфере. Эффект «замирания».

3. Тропосферный волновод. Распространение радиоволн в ионосфере. Дисперсия и поглощение радиоволн в ионосферной плазме. Ионосферная рефракция. Ход лучей в подводном звуковом канале и тропосферном радиоволноводе.

### ***Выделение сигналов на фоне помех***

1. Задачи оптимального приема сигнала. Апостериорная плотность вероятности. Функция правдоподобия. Статистическая проверка гипотез. Критерии Байеса, Неймана-Пирсона и Вальда проверки гипотез.

2. Априорные сведения о сигнале и шуме. Наблюдение и сообщение. Задачи интерполяции, фильтрации и экстраполяции.

3. Линейная фильтрация Колмогорова–Винера на основе минимизации дисперсии ошибки. Принцип ортогональности ошибки и наблюдения. Реализуемые линейные фильтры и уравнение Винера-Хопфа.

Выделение сигнала из шума. Согласованный фильтр.

4. Линейный фильтр Калмана-Бьюси. Стохастические уравнения для модели сообщения и шума. Дифференциальные уравнения фильтра. Уравнение для апостериорной информации в форме уравнения Риккати. Сравнение фильтрации методом Колмогорова-Винера и Калмана-Бьюси.

### **III. Список рекомендуемой литературы для подготовки к кандидатскому экзамену**

#### *Основная литература*

1. Карлов Н.В., Кириченко Н.А. Колебания, волны, структуры. – М.: Физматлит, 2001
2. Тихонов В.И., Шахтарин Б.И., Сизых В.И. Случайные процессы. М.: Радио и связь, 2003. – 399 с.
3. Миллер Б. М., Панков А.Р. Теория случайных процессов в примерах и задачах. М.: Физматлит, 2002. – 317 с.
4. Котоусов А.С. Теория информации. М.: Радио и связь, 2003. – 80 с.
5. Вернер М. Основы кодирования. М.: Техносфера, 2004. – 286 с.
6. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение. М.: Техносфера, 2005. – 320 с.
7. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2002.
8. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Статистическая радиофизика и оптика. Случайные колебания и волны в линейных системах. И: ФИЗМАТЛИТ (2010 г.), 428 с.
9. Никольский В.В., Никольская Т.И. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989.

#### *Дополнительная литература*

1. Ярив А., Юх П. Оптические волны в кристаллах. М.: Мир, 1987.
2. Кайно Г. Акустические волны. Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов. М.: Мир, 1990.
3. Нугманов И.С. Случайные процессы. Казань.: КГУ. 2005.– 80.с.
4. Нугманов И.С., Шарипов К.Р. Обнаружение и оценка параметров сигналов. Казань.: КГУ. 2009.- 73.с.
5. Рыскин Н. М., Трубецков Д. И. Нелинейные волны: Учеб. пособие. – М.: Физматлит, 2000. 272 с.
6. Тихонов, В. И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В. И. Тихонов, В. Н. Харисов. – М.: Радио и связь, 2004. – 608 с
7. Шахтарин Б.И. Случайные процессы в радиотехнике. М.: Радио и связь, 2002. – 583 с.

#### **IV. Критерии выставления оценок на кандидатском экзамене**

Оценка знаний производится по **пятибалльной шкале**.

Оценка **«отлично»** выставляется за обстоятельный и глубокий ответ на два вопроса из разных тематических разделов. Аспирант/экстерн грамотно использует научную терминологию, демонстрирует знание источников, выявляет основные тенденции и проблемы, свободно ориентируется в материале, относящемся к предмету.

Оценка **«хорошо»** предполагает правильные и достаточно полные ответы на два вопроса из разных тематических разделов, отсутствие грубых ошибок и упущений, если одновременно допущены отдельные ошибки и у аспиранта/экстерна возникли затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

Оценка **«удовлетворительно»** выставляется при недостаточно полном ответе на основные вопросы, при наличии пробелов в знаниях, а также если у аспиранта/экстерна возникли серьёзные затруднения при ответе на дополнительные вопросы членов экзаменационной комиссии.

Оценка **«неудовлетворительно»** выставляется в случае отсутствия необходимых для ответа теоретических знаний.